# Wirkung verschiedener Lichtintensität und Belichtungsdauer auf das Längenwachstum etiolierter Keimlinge

von

**Helene Jacobi.**

Aus der biologischen Versuchsanstalt in Wien.

(Mit 2 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 6. Juli 1911.)

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß Licht auf das Wachstum der Pflanzen im allgemeinen retardierend wirkt. Wiesner,[2] Pfeffer[3] u. a. erörtern diese Tatsache an verschiedenen Orten. Während aber manche Wachstumsvorgänge, welche durch das Licht hervorgerufen und beeinflußt werden, wie z. B. Heliotropismus, einer vielfachen und sorgfältigen Untersuchung unterzogen wurden, liegen nur wenige Arbeiten über die Einwirkung von künstlichem Licht auf das Längenwachstum der Pflanzen speziell vor. Bei diesen Arbeiten wird zumeist Licht von großer Intensität verwendet, wie unter anderem bei denen von Bonnier.[4] Dort, wo sonst noch der retardierenden Wirkung des Lichtes Erwähnung geschieht, kommt meist nur der Einfluß des Tageslichtes in Betracht.

Zum Zwecke exakter Untersuchungen muß die Anzahl der einwirkenden Faktoren auf eine geringe beschränkt werden.

---

[1] Diese Arbeit wurde über Anregung des Herrn L. v. Portheim ausgeführt.

[2] J. Wiesner, Anatomie und Physiologie der Pflanzen, V. Aufl., p. 316.

[3] W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., II. Bd., p. 96 ff.

[4] E. Bonnier, Influence de la lumière électrique continue etc. Revue générale de botanique, 1895, T. VIII.

Die Faktoren selbst sollen nicht komplex und möglichst meßbar sein. Diese Forderungen treffen bei längerer Exponierung der Pflanze im Tageslicht nicht zu. Wenn dennoch zwei Versuchsreihen, welche mit Hilfe des Tageslichtes ausgeführt wurden, jetzt verwertet werden sollen, so hat dies nur orientierenden Zweck.

## Erste und zweite Versuchsreihe.

Nach einigen Vorversuchen mit verschiedenen Arten gelangten etiolierte Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* und *Triticum vulgare* zur Verwendung. Die Samen wurden im Warmhaus in Töpfen mit Erde unter einem Dunkelsturz zur Keimung gebracht. Dort verblieben die Keimlinge, bis sie die geeignete Größe erreicht hatten, was durch Vorversuche ermittelt worden war. Nur jene, welche beiläufig gleiche Länge hatten, kamen zur Verwendung. Die Beobachtung erstreckte sich bloß auf jenen meßbaren Pflanzenteil, welcher zuerst aus der Erde kommt, also bei *Phaseolus* auf das Hypokotyl, bei *Triticum* auf die Coleoptile und das erste Blatt.

Sieben bis zehn Töpfe mit etiolierten Keimlingen von möglichst gleicher Größe wurden um 7 Uhr abends (März bis April) in eine Kiste übertragen, welche im Warmhaus so aufgestellt war, daß nur Nordlicht Zutritt hatte. Um eine nahezu gleiche Feuchtigkeit wie die unter dem Dunkelsturz zu erhalten, wurden die Keimlinge mit einer Glaswanne bedeckt. Alle verwendeten Keimlinge wurden am Beginne des Versuches mit Millimeterpapier gemessen. Am folgenden Tage und so täglich weiter kam je ein Topf wieder unter den Dunkelsturz zurück. Dieses sowie die fernere Messung aller Keimlinge geschah täglich zu der oben genannten Stunde.

Die Resultate der Versuche mit *Phaseolus* und *Triticum* im Tageslicht sind in Tabelle 1 und 2 zusammengestellt. Die Tabellen zeigen in der linken Hälfte die Länge des gemessenen Pflanzengliedes, und zwar die Durchschnittslängen aller in einem Kulturgefäß befindlichen Keimlinge. In der rechten Hälfte stehen die Wachstumsintensitäten, d. i. der Quotient aus der an einem Meßtage erhaltenen Länge zu der des vorhergehenden Tages.

Die Kurven, Fig. 1 und 2, sind nach den in Tabelle 1 und 2 angegebenen Daten konstruiert. Ihre nähere Erläuterung erfolgt weiter unten.

Die Versuche ergeben, daß im allgemeinen die dem Licht am längsten ausgesetzten Pflanzen nachher im Dunkeln die




Fig. 1.

Wachstumskurven nach Tabelle 1 (*Phaseolus vulgaris*).

kürzesten werden. Doch zeigt eine Linie, welche die Endpunkte der Kurven des Längenwachstums verbinden würde, einen wellenförmigen Verlauf. Ferner besitzen bloß die durch kürzere Zeit belichteten Keimlinge, wenn sie wieder unter den

Dunkelsturz gebracht werden, eine geringere Wachstumsintensität als die Kontrollpflanzen. Die durch mehrere Tage beleuchteten Keimlinge zeigen jedoch, zumeist schon vom zweiten Tag an, eine stärkere Wachstumsintensität als die Dunkelpflanzen.

Die Kurven in Fig. 1 und 2 kamen auf folgende Weise zustande: Als Ordinate erscheint die Länge der belichteten

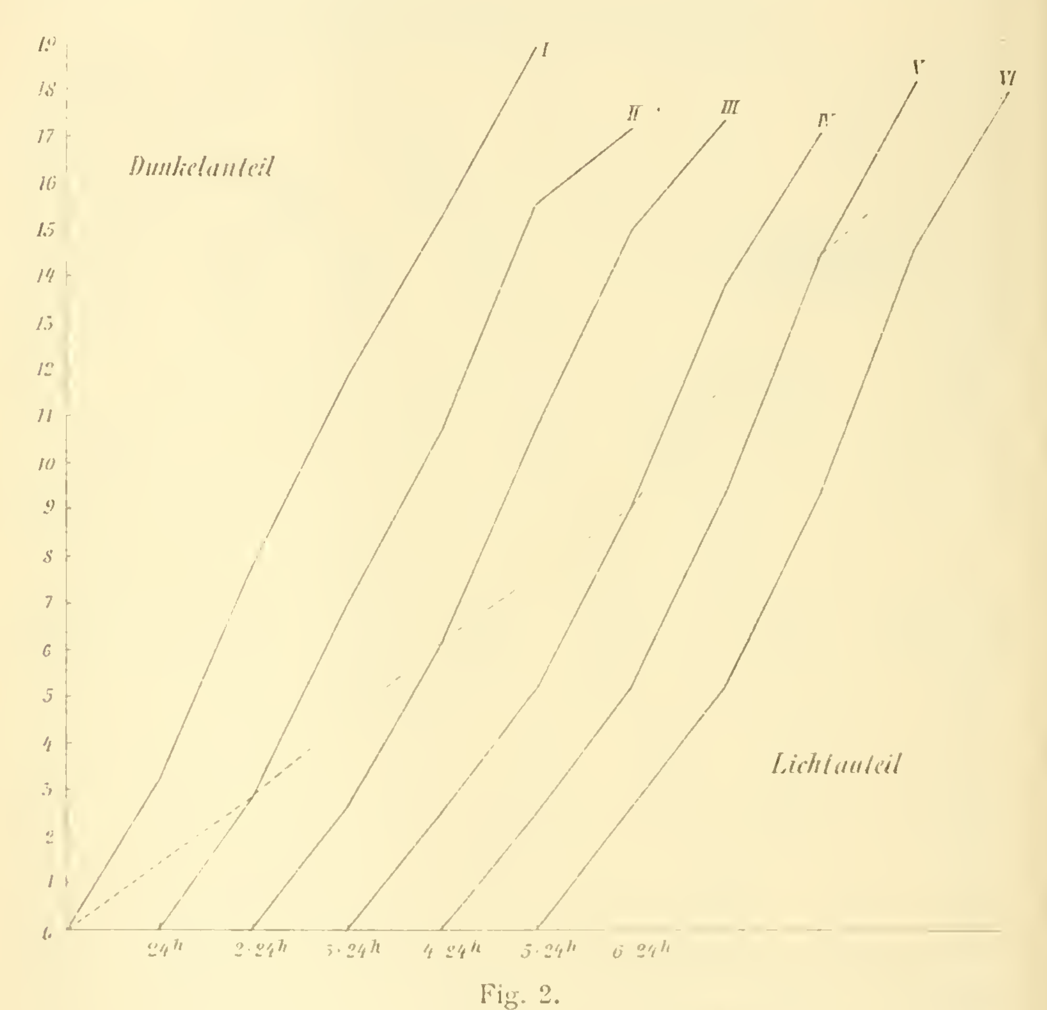



Fig. 2.
Wachstumskurven nach Tabelle 2 (*Triticum vulgare*).

Pflanzenteile in Zentimetern, als Abszisse die Belichtungszeiten. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden alle Kurven in das Koordinatensystem der Dunkelpflanze, d. i. Kurve I, eingetragen. Die Kurven selbst sind folgende:

Kurve I veranschaulicht das Längenwachstum der Dunkelpflanze;

Kurve II das Längenwachstum der 24 Stunden belichteten und dann im Dunkeln weiter kultivierten Pflanze;

Kurve III das der $2 \times 24$ Stunden belichteten und dann im Dunkeln weiter kultivierten Pflanze;

Kurve IV das der $3 \times 24$ Stunden belichteten und dann im Dunkeln weiter kultivierten Pflanze;

Kurve V das der $4 \times 24$ Stunden belichteten und dann im Dunkeln weiter kultivierten Pflanze;

Kurve VI das der $5 \times 24$ Stunden belichteten und dann im Dunkeln weiter kultivierten Pflanze.

Die strichlierten Linien bezeichnen die Grenze zwischen dem Wachstum im Licht und dem im Dunkeln. Die Kurven rechts von der strichlierten Linie veranschaulichen das Wachstum der Keimlinge im Licht, während die Kurven links von dieser Linie das Wachstum der Keimlinge (nach vorhergegangener Belichtung) im Dunkeln darstellen.

Dieses ungleiche Verhalten der Keimlinge mag auf den verschiedenen Verbrauch der Reservestoffe, beziehungsweise verschieden starke Assimilation zurückzuführen sein. Doch können auch andere Umstände dabei eine Rolle spielen, z. B. die schwankende Lichtintensität, ferner die ungleichen Temperaturverhältnisse im Warmhause und auch noch andere Faktoren.

Um die Untersuchungen genauer zu gestalten, d. h. unabhängiger von so vielfachen Einflüssen, wurden die weiteren Experimente mit Hilfe des künstlichen Lichtes ausgeführt.

Die Versuchsanstellung war folgende:

Die Kulturgefäße waren unter Dunkelstürzen in der Dunkelkammer der Anstalt untergebracht. Als Lichtquelle dienten Kohlenfadenlampen. Innen weiße, außen dunkle Schirme ermöglichten die volle Ausstrahlung des Lichtes der Lampen nach der einen, möglichste Abblendung nach der anderen Seite. Die erwünschte Lichtstärke wurde entweder mittels Glühbirnen von bestimmter Intensität in 1 *m* Distanz oder durch Vergrößerung der Entfernung des Objektes von der Lichtquelle erzielt.

Die Messung der Keimlinge erfolgte vor und nach der Beleuchtung und dann jeden folgenden Tag zur selben Stunde bei rotem Licht; später in großer Entfernung von schwachem

Tabelle 1.

**Phaseolus vulgaris: Einwirkung von Tageslicht.**[1]

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Der Anbau erfolgte am | Versuchstag | Datum | Länge der Hypokotyle in Zentimetern | | | | | | Wachstumsintensitäten | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Exponierung im Licht in Stunden | | | | | | | | | | | |
| | | | | Dunkelpflanze 0 | 24 | 2×24 | 3×24 | 4×24 | 5×24 | 0 | 24 | 2×24 | 3×24 | 4×24 | 5×24 |
| 5 per Kulturgefäß | 24./4. | 1. | 29./4. | 0·78 | 0·78 | 0·66 | 0·84 | 0·58 | 0·62 | — | — | — | — | — | — |
| | | 2. | 30. | 2·50 | 2·04* | 1·48 | 1·68 | 1·40 | 1·44 | 3·20 | **2·62** | 2·71 | 2·00 | 2·41 | 2·36 |
| | | 3. | 31. | 6·62 | 5·32 | 4·00* | 4·06 | 3·22 | 3·65 | 2·65 | 2·56 | **2·70** | 2·42 | 2·30 | 2·53 |
| | | 4. | 1./5. | 14·78 | 11·14 | 8·70 | 8·16* | 4·82 | 4·36 | 2·22 | 2·16 | 2·17 | **2·05** | 1·50 | 1·19 |
| | | 5. | 2. | 19·86 | 17·16 | 15·54 | 14·00 | 8·94* | 7·76 | 1·35 | 1·54 | 1·79 | 1·72 | **1·85** | 1·78 |
| | | 6. | 3. | 23·76 | 20·34 | 18·92 | 18·50 | 13·44 | 12·02 | 1·19 | 1·19 | 1·19 | 1·22 | 1·32 | 1·51 |

[1] Es wurden 6 Versuche mit 210 Keimlingen aufgestellt.

* Schluß der Lichtexponierung; die zugehörigen Wachstumsintensitäten sind fett gedruckt. Die Zahlen, welche auf die mit * bezeichneten und fett gedruckten Zahlen folgen, sind diejenigen der im Dunkeln weiter kultivierten Pflanzen. Diese Bemerkungen beziehen sich auch auf die nächste Tabelle.

Tabelle 2.

**Triticum vulgare: Einwirkung von Tageslicht.**[2]

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Der Anbau erfolgte am | Versuchstag | Datum | Länge der Coleoptile+erstem Blatt in Zentimetern | | | | | | Wachstumsintensitäten | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Exponierung im Licht in Stunden | | | | | | | | | | | |
| | | | | Dunkelpflanze 0 | 24 | 2×24 | 3×24 | 4×24 | 5×24 | 0 | 24 | 2×24 | 3×24 | 4×24 | 5×25 |
| 10 per Kulturgefäß | 14./2. | 1. | 18./2. | 0·69 | 0·70 | 0·66 | 0·72 | 0·67 | 0·70 | — | — | — | — | — | — |
| | | 2. | 19. | 3·33 | 2·61* | 2·49 | 2·51 | 2·38 | 2·63 | 4·82 | **3·72** | 3·77 | 3·50 | 3·55 | 3·61 |
| | | 3. | 20. | 7·26 | 6·92 | 6·12* | 5·18 | 5·08 | 5·22 | 2·18 | 2·69 | **2·45** | 2·06 | 2·13 | 1·99 |
| | | 4. | 21. | 11·62 | 10·59 | 10·71 | 8·98* | 9·35 | 9·44 | 1·60 | 1·53 | 1·75 | **1·73** | 1·84 | 1·81 |
| | | 5. | 22. | 15·30 | 15·45 | 14·85 | 13·64 | 14·55* | 14·48 | 1·31 | 1·45 | 1·38 | 1·51 | **1·38** | 1·86 |
| | | 6. | 23. | 18·80 | 17·09 | 17·26 | 16·86 | 18·00 | 17·75 | 1·22 | 1·10 | 1·16 | 1·23 | 1·24 | 1·22 |

[2] Es wurden 5 Versuche mit 350 Keimlingen gemacht.

gelben Licht, das, wie ich mich überzeugte, ohne weiteren Einfluß war.

Die Temperatur in der Dunkelkammer schwankte zwischen 16 bis 20° C. Sie stieg bei der Lichtintensität von 100 Normalkerzen in einer Entfernung von 1 *m* z. B. von 20 auf 22°. Auf eine Vorrichtung zwecks Wärmeabsorption wurde verzichtet.

Die Feuchtigkeit des Raumes erwies sich als konstant, sie betrug im Mittel 49%. Bei Beginn des Versuches wurden die Töpfe mit den Keimlingen auf dem Experimentiertisch in bestimmter Entfernung vor den Lampen aufgestellt.

## 3. Versuchsreihe.

Lichtstärke 0·55 bis 100 Normalkerzen.

Dauer der Beleuchtung: 2 Stunden.[1]

Versuchspflanze: *Phaseolus vulgaris.* (Tabelle 3, 4 und 5.)

Bei einer Lichtintensität von 100 Normalkerzen oder weniger bis zu 25 Normalkerzen wird das Längenwachstum der beleuchteten Keimlinge im Dunkeln im Vergleich zu dem der Dunkelpflanzen verzögert. Beträgt die Intensität aber 25 Normalkerzen oder noch weniger, so tritt das Gegenteil ein: die beleuchteten Keimlinge haben eine stärkere Wachstumsintensität als die Dunkelpflanzen.

Daß viele Pflanzen schon bei schwacher Beleuchtung Etiolementerscheinungen zeigen, ist bekannt. Pfeffer[2] erwähnt diese Tatsache, ebenso Wiesner.[3]

Tabelle 3, 4 und 5 sind ähnlich angeordnet wie die früheren. In Tabelle 3 sind nur die Längen des 1. und 2. Meßtages, also nur eine Reihe der Wachstumsintensitäten angegeben. Tabelle 4 und 5 zeigen den Versuchsverlauf durch einige Zeit bei Einwirkung von 100 Normalkerzen, beziehungsweise bei 1·25 Normalkerzen. Aus den Daten dieser Tabellen geht hervor, daß, falls die Beleuchtung eine starke war, sie oft ein

---

[1] Die Belichtungsdauer von 2 Stunden sei vorerst aus den verschiedenen Versuchen herausgegriffen.

[2] Pfeffer, a. a. O., p. 113, 117.

[3] J. Wiesner, Der Lichtgenuß der Pflanzen, 1907, p. 259.

dauerndes Zurückbleiben der Länge des Organes verursachte, d. h. die Verzögerung wurde fixiert. War aber die verwendete Lichtintensität eine geringe (25 Normalkerzen und darunter), so erschien die Pflanze gewöhnlich dauernd länger. Manchmal aber erfolgte schon am dritten Meßtage ein Ausgleich der Längen den Dunkelpflanzen gegenüber.

## 4. Versuchsreihe.

Lichtstärke 100 Normalkerzen.

Dauer der Beleuchtung: 15 Sekunden bis 12 Stunden.

Entfernung von der Lichtquelle: 1 *m*.

Versuchspflanzen: *Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare, Sinapis alba.* (Tabelle 6, 7, 8, 9, 10.)

Alle Versuche dieser Reihe wurden bei einer Intensität von 100 Normalkerzen in 1 *m* Distanz ausgeführt; die Dauer der Beleuchtung jedoch war eine wechselnde. Es wurden Beleuchtungszeiten von 12 Stunden bis zu 15 Sekunden herab angewendet.

Über die Versuchsanstellung sei dem schon früher Ausgeführten folgendes hinzugefügt: Die etiolierten Keimlinge wurden bei schwacher roter Beleuchtung oder bei dem Lichte einer gewöhnlichen Glühlampe von geringer Intensität, aus dem Dunkelsturz in einen leicht verschließbaren schwarzen Kasten gebracht. Der Kasten stand auf dem Experimentiertisch hinter den Lampen. Das Licht zweier Lampen von je 50 Normalkerzen Stärke war durch die Schirme vom Kasten abgewendet und fiel voll auf die in 1 *m* Distanz stehenden Keimlinge, welche dem Kasten entnommen worden waren.

Beginn und Schluß der Beleuchtung erfolgte entweder durch Auf-, beziehungsweise Abdrehen der Lampen oder es wurden die Pflanzen durch Verschließen des Topfes in einem handlichen schwarzen Pappkästchen der Belichtung entzogen.

Versuchspflanze war vorerst wieder *Phaseolus vulgaris.* Das Längenwachstum dieser Keimlinge zeigte bei einer Beleuchtung von 12 Stunden bis zu einer Minute Dauer im Dunkeln wieder eine Verzögerung im Vergleiche zur dauernd verdunkelten Pflanze. Wird die Einwirkungszeit weiter herabgesetzt auf

Tabelle

**Phaseolus vulgaris.[1] Lichtstärke 100 Normalkerzen bis**

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Länge der Hypokotyle in Zenti- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Lichtintensität in | | | | | | | | |
| | | | | 100 | 75 | 66 | 50 | 25 | 21 | 10 | 5 | 1·25 |
| 5 per Kulturgefäß | X. | 1. | 28./12. | 1·50* | 1·55 | — | 1·36 | 1·52 | — | — | — | — |
| | | 2. | 29. | 2·10 | 2·22 | — | 2·10 | 2·47 | — | — | — | — |
| | XXV. | 1. | 13. | — | — | 1·66 | — | — | — | — | — | — |
| | | 2. | 14. | — | — | 2·20 | — | — | — | — | — | — |
| | XXIV. | 1. | 24. | — | — | — | — | — | 1·57 | — | — | — |
| | | 2. | 25. | — | — | — | — | — | 4·70 | — | — | — |
| | XVIII. | 1. | 7. | — | — | — | — | — | — | 1·84 | — | — |
| | | 2. | 8. | — | — | — | — | — | — | 3·28 | — | — |
| | XXIX. | 1. | 9. | — | — | — | — | — | — | — | 1·65 | 1·70 |
| | | 2. | 10. | — | — | — | — | — | — | — | 3·05 | 3·64 |

* Die erste Ziffernreihe zeigt die Länge vor der Belichtung, die zweite

[1] Es wurden 32 Versuche mit 500 Keimlingen aufgestellt.

Tabelle 4.

**Phaseolus vulgaris. 100 Normalkerzen. 2 Stunden belichtet. Durch 9 Tage beobachtet.**

| Versuchs-tag | Datum | Länge in *cm* | | Wachstumsintensität | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Dunkel-pflanze | 100 Normal-kerzen | Dunkel-pflanze | 100 Normal-kerzen |
| 1. | 4./4. | 1·96 | 1·56 | — | — |
| 3. | 6. | 8·84 | 6·08 | 4·05 | 3·75 |
| 5. | 8. | 16·48 | 17·10 | 1·96 | 2·84 |
| 7. | 10. | 19·14 | 17·68 | 1·23 | 1·04 |
| 9. | 12. | 19·34 | 19·04 | 1·01 | 1·08 |

3.

**0·55 Normalkerzen. Dauer der Beleuchtung 2 Stunden.**

| metern | | Wachstumsintensitäten | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Normalkerzen | | | | | | | | | | | | |
| 0·55 | Dunkelpflanze 0 | 100 | 75 | 66 | 50 | 25 | 21 | 10 | 5 | 1·25 | 0·55 | 0 |
| — | 1·64 | | | | | | | | | | | |
| — | 2·62 | 1·40 | 1·43 | — | 1·55 | 1·63 | — | — | — | — | — | 1·57 |
| — | 1·60 | | | | | | | | | | | |
| — | 3·00 | — | — | 1·33 | — | — | — | — | — | — | — | 1·94 |
| — | 1·54 | | | | | | | | | | | |
| — | 2·90 | — | — | — | — | — | 3·00 | — | — | — | — | 1·88 |
| — | 1·88 | | | | | | | | | | | |
| — | 3·10 | — | — | — | — | — | — | 1·78 | — | — | — | 1·64 |
| 1·76 | 1·80 | | | | | | | | | | | |
| 3·60 | 3·26 | — | — | — | — | — | — | — | 1·85 | 2·14 | 2·05 | 1·81 |

die Länge 24 Stunden nach der Belichtung.

Tabelle 5.

**Phaseolus vulgaris. 1·25 Normalkerzen. 2 Stunden belichtet. Durch 7 Tage beobachtet.**

| Versuchstag | Datum | Länge in *cm* | | Wachstumsintensität | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Dunkelpflanze | 100 Normalkerzen | Dunkelpflanze | 100 Normalkerzen |
| 1. | 9./11. | 1·12 | 1·30 | — | — |
| 2. | 10. | 1·58 | 2·28 | 1·51 | 1·75 |
| 3. | 11. | 2·48 | 3·18 | 1·57 | 1·39 |
| 5. | 13. | 7·32 | 7·58 | 2·95 | 2·39 |
| 7. | 15. | 15·20 | 16·40 | 2·10 | 2·11 |

Tabelle 6.

**Phaseolus vulgaris. Lichtstärke 100 Normalkerzen. Dauer der Beleuchtung 12 Stunden bis 15 Sekunden. Distanz 1 *m*.**

Zahl der aufgestellten Versuche 37. Zahl der verwendeten Keimlinge 900.

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Länge der Hypokotyle in Zentimetern | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Beleuchtung in Stunden | | | | | | | | | | |
| | | | | 12 | 9 | 6 | 5 | 4 | 3 | $2^1/_2$ | 2 | $1^1/_2$ | 1 | Dunkelpflanze |
| 5 per Kulturgefäß | VII. | 1. | 18./4. | — | — | — | — | — | 1·82* | 1·62 | 1·50 | 1·50 | 1·62 | 1·94 |
| | | 2. | 19. | — | — | — | — | — | 2·24 | 2·47 | 2·32 | 2·31 | 2·39 | 3·60 |
| | X. | 1. | 20./6. | — | — | — | 1·62 | 1·58 | — | — | — | — | — | 1·60 |
| | | 2. | 21. | — | — | — | 2·40 | 2·43 | — | — | — | — | — | 3·60 |
| | XX. | 1. | 11./2. | 1·72 | 1·65 | 1·62 | — | — | — | — | — | — | — | 1·66 |
| | | 2. | 12. | 2·47 | 2·80 | 2·85 | — | — | — | — | — | — | — | 3·60 |

* Die erste Reihe jedes Versuches zeigt die Länge vor Beginn der Belichtung, die zweite Reihe zeigt die Länge nach 24 Stunden im Dunkeln.

Tabelle 6 (Fortsetzung).

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Wachstumsintensitäten | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Beleuchtung in Stunden | | | | | | | | | | |
| | | | | 12 | 9 | 6 | 5 | 4 | 3 | $2^1/_2$ | 2 | $1^1/_2$ | 1 | Dunkelpflanze |
| 5 per Kulturgefäß | VII. | 1. | 18./4. | | | | | | | | | | | |
| | | 2. | 19. | — | — | — | — | — | 1·23 | 1·53 | 1·55 | 1·54 | 1·48 | 1·86 |
| | X. | 1. | 20./6. | | | | | | | | | | | |
| | | 2. | 21. | — | — | — | 1·48 | 1·54 | — | — | — | — | — | 2·25 |
| | XX. | 1. | 11./2. | | | | | | | | | | | |
| | | 2. | 12. | 1·44 | 1·70 | 1·76 | — | — | — | — | — | — | — | 2·17 |

Tabelle 6 (Fortsetzung).

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Länge der Hypokotyle in Zentimetern | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Beleuchtung | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 45 | 30 | 15 | Dunkelpflanze |
| | | | | Minuten | | | | | | | | | | Sekunden | | | |
| 5 per Kulturgefäß | XV. | 1. | 19./9. | 1·10 | 1·00 | 1·20 | 1·30 | 1·17 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1·20 |
| | | 2. | 20. | 1·38 | 1·22 | 1·44 | 1·84 | 1·82 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1·91 |
| | XVII. | 1. | 10./10. | — | — | — | — | — | 1·38 | 1·36 | 1·26 | 1·39 | 1·42 | — | — | — | 1·58 |
| | | 2. | 11. | — | — | — | — | — | 2·48 | 2·40 | 2·04 | 2·20 | 2·22 | — | — | — | 3·32 |
| | XXV. | 1. | 22./2. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1·86 | 1·76 | 1·82 | 1·98 |
| | | 2. | 23. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3·50 | 3·15 | 3·37 | 3·33 |

Tabelle 6 (Fortsetzung).

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Wachstumsintensitäten — Dauer der Beleuchtung — Minuten 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Sekunden 45 | 30 | 15 | Dunkelpflanze |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 per Kulturgefäß | XV. | 1. | 19./9. | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2. | 20. | 1·25 | 1·22 | 1·20 | 1·41 | 1·47 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1·59 |
| | XVII. | 1. | 10./10. | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2. | 11. | — | — | — | — | — | 1·79 | 1·75 | 1·60 | 1·58 | 1·56 | — | — | — | 2·07 |
| | XXV. | 1. | 22./2. | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2. | 23. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1·88 | 1·79 | 1·85 | 1·68 |

Tabelle 7.

**Triticum vulgare.[1] Intensität 100 Normalkerzen. Dauer der Beleuchtung 15 Sekunden bis $2^1/_2$ Minuten.**

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Länge der Coleoptile in Zentimetern | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Beleuchtung | | | | | | | | | | |
| | | | | Dunkel-pflanze | 15 | 30 | 45 | 1 | $1^1/_4$ | $1^1/_2$ | $1^3/_4$ | 2 | $2^1/_4$ | $2^1/_2$ |
| | | | | | Sekunden | | | Minuten | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | I. | 1. | 19./12. | 1·80 | 1·83 | 1·30 | 1·24 | 1·42 | 1·44 | — | — | — | — | — |
| | | 2. | 20. | 5·00 | 5·14 | 4·90 | 4·68 | 4·66 | 3·92 | — | — | — | — | — |
| | | 4. | 22. | 9·30 | 9·38 | 9·58 | 8·76 | 8·88 | 8·30 | — | — | — | — | — |
| | XIV. | 1. | 28./2. | 1·84 | — | — | — | — | — | 1·72 | 1·50 | 1·82 | 1·90 | 1·92 |
| | | 2. | 1./3. | 4·28 | — | — | — | — | — | 3·60 | 3·12 | 3·77 | 3·67 | 3·68 |
| | | 4. | 2. | 9·70 | — | — | — | — | — | 7·30 | 6·94 | 7·48 | 7·35 | 7·40 |

[1] Es wurden 14 Versuche mit 395 Keimlingen aufgestellt.

Tabelle 7 (Fortsetzung).

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Wachstumsintensitäten | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Beleuchtung | | | | | | | | | | | |
| | | | | Dunkel-pflanze | 15 | 30 | 45 | 1 | $1^1/_4$ | $1^1/_2$ | $1^3/_4$ | 2 | $2^1/_4$ | $2^1/_2$ | |
| | | | | | Sekunden | | | Minuten | | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | I. | 1. | 19./12. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Länge vor der Beleuchtung |
| | | 2. | 20. | **2·78** | **2·81** | **3·76** | **3·77** | **3·27** | **2·72** | — | — | — | — | — | |
| | | 4. | 22. | 1·86 | 1·82 | 2·55 | 2·32 | 2·71 | 1·76 | — | — | — | — | — | |
| | XIV. | 1. | 28./2. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Länge vor der Beleuchtung |
| | | 2. | 1./3. | **2·33** | — | — | — | — | — | **2·09** | **2·08** | **2·07** | **1·93** | **1·92** | |
| | | 4. | 2. | 2·26 | — | — | — | — | — | 2·20 | 2·21 | 1·98 | 2·00 | 2·01 | |

Tabelle 8.

**Triticum vulgare. Wachstumsintensitäten des 1. und 2. Meßtages, berechnet aus der Länge.**

| Versuchszahl | Dunkelpflanze | 15 | 30 | 45 | 1 | $1^1/_4$ | $1^1/_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sekunden | | | Minuten | | |
| 1. | 2·78 | 2·81 | 3·76 | 3·77 | 3·27 | 2·72 | 2·70 |
| 2. | 2·36 | 2·50 | 2·44 | 2·33 | 2·20 | 2·19 | 2·18 |
| 3. | 1·45 | 1·57 | 1·50 | 1·48 | 1·54 | 1·41 | 1·30 |
| 4. | 1·42 | 1·51 | 1·51 | 1·64 | 1·58 | 1·50 | 1·49 |
| 5. | 1·51 | 1·68 | 1·62 | 1·64 | 1·75 | 1·67 | 1·65 |
| Durchschnitt. | **1·90** | **2·01** | **2·14** | **2·17** | **2·06** | **1·89** | **1·86** |

45 Sekunden, 30 Sekunden bis zu 15 Sekunden, so tritt eine Beschleunigung des Wachstums der Dunkelpflanze gegenüber ein (Tabelle 6).

Es wurden für die sehr kurzen Exponierungszeiten auch andere Pflanzen zur Beobachtung herangezogen. Nach einigen Vorversuchen erwies sich *Triticum vulgare* und *Sinapis alba* als geeignet. Kultur und sonstige Behandlung der Keimlinge war dieselbe wie bei *Phaseolus vulgaris*. Bei *Triticum* wurde die Messung auf die Coleoptile beschränkt.

Es treten ähnliche Erscheinungen auf wie bei *Phaseolus*, nur beginnt die Beschleunigung des Längenwachstums bei *Triticum* im allgemeinen schon bei 1 Minute Lichteinwirkung (Tabelle 8), bei *Sinapis* bei $1^1/_2$ bis $1^3/_4$ Minuten (Tabelle 9 und 10).

Wird bei der Belichtung von *Phaseolus* statt 100 Normalkerzen eine geringere Intensität, z. B. nur 50 Normalkerzen, verwendet, so ist jetzt die obere Grenze der Beleuchtungszeit, bei welcher noch Wachstumsbeschleunigung eintritt, eine halbe Stunde; von da ab tritt Verzögerung des Wachstums

ein. Läßt man 5 Normalkerzen auf die Pflanze einwirken, so zeigt sich Beschleunigung bis zu vierstündiger Beleuchtungsdauer.

Bei einem Vergleich der Resultate der letzten zwei Versuchsreihen (3. und 4.) ergibt sich, daß die Wachstumsbeschleunigung der beleuchteten Pflanze sowohl dann eintritt, wenn bei konstanter Beleuchtungsdauer die Lichtintensität genügend herabgemindert wird, als auch dann, wenn letztere konstant bleibt, die Dauer der Einwirkung jedoch entsprechend kurz ist.

## 5. Versuchsreihe.

Um die Beziehungen zwischen der Wirkung der Lichtintensität einerseits und der Exponierungsdauer andrerseits genauer studieren zu können, wurde eine Reihe von Parallelversuchen ausgeführt.

Die Lichteinwirkung erfolgte in der Weise, daß bei wechselnder Intensität und Dauer der Beleuchtung das Produkt aus diesen beiden Faktoren ein konstantes war.

Es kommen in Betracht:

Versuche mit 100 Normalkerzen durch $1\frac{1}{2}$ Stunden, Parallelversuche mit 50 Normalkerzen durch 3 Stunden einwirkend;

Versuche mit 100 Normalkerzen durch 3 Stunden, Parallelversuche mit 50 Normalkerzen durch 6 Stunden einwirkend.

Versuchspflanze: *Phaseolus vulgaris.*

Die sonstigen Versuchsbedingungen waren dieselben wie früher (Tabelle 11).

Die erste Messung erfolgte 24 Stunden vor der Beleuchtung, die zweite am Schlusse derselben, die dritte 24 Stunden später usw. Es zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß, falls man die erste und zweite Messung in Betracht zieht, jüngere Keimlinge sich anders verhalten als ältere. Der Altersunterschied betrug nur 1 bis 2 Tage, doch erschienen jüngere Keimlinge durch die stärkere Intensität (z. B. 100 Normalkerzen 3 Stunden) mehr im Wachstum retardiert als durch die längere Beleuchtung (z. B. 50 Normalkerzen $\times$ 6 Stunden); bei den älteren Keimlingen ist das Verhältnis ein umgekehrtes.

Tabelle 9.

**Sinapis alba.[1] Intensität 100 Normalkerzen. Dauer der Beleuchtung 15 Sekunden bis $2^1/_2$ Minuten.**

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Länge des Hypokotyls in Zentimetern | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dunkelpflanze | Dauer der Beleuchtung | | | | | | | | | |
| | | | | | 15 | 30 | 45 | 1 | $1^1/_4$ | $1^1/_2$ | $1^3/_4$ | 2 | $2^1/_4$ | $2^1/_2$ |
| | | | | | Sekunden | | | Minuten | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | II. | 1. | 29./12. | 1·38 | 1·64 | 1·34 | 1·38 | 1·31 | 1·78 | 1·24 | 1·52 | — | — | — |
| | | 2. | 30. | 4·56 | 3·90 | 5·32 | 5·50 | 4·72 | 4·50 | 4·37 | 4·82 | — | — | — |
| | | 3. | 31. | 5·96 | 6·46 | 7·14 | 7·16 | 6·78 | 6·56 | 6·28 | 6·74 | — | — | — |
| | III. | 1. | 6./1. | 1·80 | — | — | — | — | — | — | — | 1·86 | 1·98 | 1·62 |
| | | 2. | 7. | 5·28 | — | — | — | — | — | — | — | 5·46 | 5·45 | 4·25 |
| | | 3. | 8. | 9·25 | — | — | — | — | — | — | — | 9·80 | 9·86 | 7·13 |

[1] Es wurden 10 Versuche mit 360 Keimlingen aufgestellt.

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Nummer des Versuches | Versuchstag | Datum | Wachstumsintensitäten | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Dauer der Beleuchtung | | | | | | | | | | | |
| | | | | Dunkelpflanze | 15 | 30 | 45 | 1 | $1^1/_4$ | $1^1/_2$ | $1^3/_4$ | 2 | $2^1/_4$ | $2^1/_2$ | |
| | | | | | Sekunden | | | Minuten | | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | II. | 1. | 29./12. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Länge am Beginn der Beleuchtung |
| | | 2. | 30. | 3·30 | 3·90 | 3·98 | 3·98 | 3·62 | 3·53 | 3·46 | 3·18 | — | — | — | |
| | | 3. | 31. | 1·31 | 1·60 | 1·34 | 1·41 | 1·43 | 1·46 | 1·43 | 1·43 | — | — | — | |
| | III. | 1. | 6./1. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Länge am Beginn der Beleuchtung |
| | | 2. | 7. | 2·93 | — | — | — | — | — | — | — | 2·94 | 2·75 | 2·62 | |
| | | 3. | 8. | 1·76 | — | — | — | | | | — | 1·80 | 1·72 | 1·68 | |

Tabelle 10.

**Wachstumsintensitäten von 10 Versuchsreihen (Sinapis alba).**
**(1 : 2 Meßtag.)**

| Zahl des Versuches | Dunkel-pflanze | 15 | 30 | 45 | 1 | 1¼ | 1½ | 1¾ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sekunden | | | Minuten | | | |
| 1. | 1·99 | 2·84 | 2·60 | 2·45 | 2·44 | 1·94 | 1·62 | 1·32 |
| 2. | 3·30 | 3·90 | 3·98 | 3·98 | 3·62 | 3·53 | 3·46 | 3·18 |
| 3. | 2·93 | — | — | 3·14 | 2·87 | 3·38 | 3·21 | 2·96 |
| 4. | 1·84 | 2·02 | 1·96 | — | — | 2·00 | 1·90 | — |
| 5. | 1·60 | 1·61 | 1·62 | 1·47 | 1·65 | 1·64 | — | — |
| 6. | 1·73 | 2·50 | 1·79 | 1·80 | 1·72 | 1·59 | 1·62 | — |
| 7. | 1·61 | 1·63 | 1·76 | 1·67 | 1·64 | 1·67 | 1·44 | 1·59 |
| 8. | 2·01 | 2·21 | 2·35 | 2·07 | 1·98 | 1·87 | 1·61 | 1·60 |
| 9. | 1·59 | 2·31 | 2·31 | 1·95 | 1·88 | 1·81 | 1·79 | 1·71 |
| 10. | 2·15 | 2·56 | 2·66 | 2·87 | 2·45 | 2·13 | 2·26 | 2·14 |
| Durchschnitt. | **2·08** | **2·39** | **2·34** | **2·38** | **2·25** | **2·16** | **2·10** | **2·07** |

Zieht man aber die Wachstumsintensität zwischen der zweiten und dritten Messung in Betracht (Tabelle 11), so ist die jener Pflanzen geringer, welche dem stärkeren Licht, wenn auch nur kürzere Zeit als jene, die mit schwächerer Intensität beleuchtet wurden, ausgesetzt waren.

Es ist also trotz Konstanz des Produktes aus Intensität mal Zeit bei jeweiliger Veränderung des einen Faktors nicht in beiden Fällen die gleiche Wirkung erzielt worden.

Es sei zum Schluß der Versuchsangaben (die mit einer ganzen Reihe von Daten belegt werden könnten, welche aber der Kürze halber weggelassen wurden) noch ausführlich jener Faktoren gedacht, welche eingangs nur kurz erwähnt wurden: der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit. Zwecks genauer Beobachtung dieser beiden wurden bei manchen Versuchen zwei Apparate, ein Registrierhygroskop und ein Thermo-

## Tabelle 11.

**Phaseolus vulgaris. ($I \times t =$ konstant.)[1]**

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Alter der Keimlinge | Beginn des Versuches am | Versuchstag | Länge der Hypokotyle in Zentimetern ($I \times t$): 0 Dunkelpflanze | 100 Normalkerzen × 3 Stunden | 50 Normalkerzen × 6 Stunden | Wachstumsintensitäten ($I \times t$): 0 Dunkelpflanze | 100 Normalkerzen × 3 Stunden | 50 Normalkerzen × 6 Stunden | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 per Kulturgefäß | ältere | 16./8. | 1. | 5·52 | 5·52 | 5·12 | — | — | — | Länge vor der Beleuchtung |
| | | | 2. | 7·92 | 7·67 | 6·79 | **1·43** | **1·39** | **1·32** | Länge 24 Stunden nach der Beleuchtung |
| | | | 3. | 16·16 | 15·15 | 14·05 | **2·06** | **1·99** | **2·06** | Länge nach 2×24 Stunden |
| | | | 4. | 19·98 | 18·76 | 17·74 | 1·22 | 1·23 | 1·33 | Länge nach 3×24 Stunden |
| | 2 Tage jüngere | | 1. | 1·38 | 1·21 | 1·19 | — | — | — | Länge vor der Beleuchtung |
| | | | 2. | 1·64 | 1·36 | 1·41 | **1·22** | **1·12** | 1·18 | Länge 24 Stunden nach der Beleuchtung |
| | | | 3. | 3·10 | 2·13 | 2·34 | **1·88** | **1·57** | **1·65** | Länge 2×24 Stunden nach der Beleuchtung |
| | | | 4. | 7·58 | 5·33 | 6·52 | 2·44 | 2·50 | 2·79 | Länge 3×24 Stunden nach der Beleuchtung |

[1] Es wurden 8 Parallelversuche mit 480 Keimlingen aufgestellt. $I \times t =$ Intensität × Zeit.

graph, verwendet. Beide fanden immer gleichzeitig dort Aufstellung, wo sich die Versuchspflanzen eben befanden, also in der Dunkelkammer, unter dem Dunkelsturz, während der Beleuchtung neben den Töpfen und dann mit den beleuchteten Pflanzen unter einem Glassturz.

Zusammenstellung der erhaltenen Durchschnittsdaten:

| | Temperatur | relative Feuchtigkeit |
|---|---|---|
| Dunkelkammer | 18° C. | 48—50 % |
| Dunkelsturz | 18° C. | 75 % |
| Nach einstündiger Beleuchtung am Aufstellungsort der Keimlinge (100 Normalkerzen) | 22° C. | 36 % |
| Unter der Glaswanne nach halbstündiger Beleuchtung (100 Normalkerzen) | 23° C. | 75 % |

In der Dunkelkammer sind, wie schon einmal erwähnt wurde, Temperatur und Feuchtigkeit nahezu konstant. Der Unterschied der Temperaturen ist auch an allen anderen genannten Orten nicht bedeutend. Hingegen weist die relative Feuchtigkeit enorme Schwankungen auf. Der größte Unterschied zeigt sich zwischen der unter dem Dunkelsturz und während der Beleuchtung herrschenden Feuchtigkeit, und zwar 36 %, d. i. nahezu die Hälfte. Die Differenz zwischen der Feuchtigkeit unter dem Dunkelsturz und der am Beleuchtungsort ist 13 %; unter der Glaswanne ist sie dieselbe wie unter dem Dunkelsturz.

Die zuletzt angegebenen Daten beziehen sich hauptsächlich auf die Belichtungsdauer von 1 Stunde bei 100 Normalkerzen. Während der kurzen Exponierungszeiten jedoch, z. B. unterhalb zweier Minuten, sinkt die relative Feuchtigkeit gewiß auch, aber es ist fraglich, ob diese geringfügigen Differenzen schon irgendwie einwirken. Der Umschlag von der Retardierung zur Beschleunigung des Längenwachstums erfolgt nun innerhalb einer Viertelminute, z. B. zwischen $1\frac{1}{2}$ und $1\frac{3}{4}$ Minuten (*Sinapis*). Zwischen diesen an und für sich kurzen Beleuchtungszeiten kann sich keine nennenswerte Feuchtigkeitsdifferenz zeigen.

In diesem Falle wird wohl hauptsächlich die reine Lichtwirkung als Ursache der Veränderung der Wachstumsintensität anzunehmen sein.

Nach den erhaltenen Ergebnissen scheint es, daß die Wirkungsweise des Lichtes auf die im Dunkeln gezogenen Keimlinge eine ähnliche ist wie diejenige gewisser Reizstoffe, z. B. die von Giften und Narkotica auf manche Wachstumserscheinungen von Pflanzen. Die beiden letzteren wirken in geringen Mengen wachstumsfördernd, in größeren wachstumshemmend (Pfeffer,[1] Czapek,[2] Jost[3]). Das Licht zeigt gleichfalls bei geringer Intensität oder kurzer Einwirkungsdauer Beschleunigung des Längenwachstums etiolierter Keimlinge, während stärkere Intensität oder längere Beleuchtung retardierend wirkt.

Die bezüglich der relativen Feuchtigkeit erwähnten Tatsachen sowie eine Reihe anderer nicht geklärter Beziehungen dieser zu anderen Erscheinungen lassen die angeführten Versuche nicht als abgeschlossen erscheinen. Die beobachteten Feuchtigkeitsunterschiede sollen auch Grundlage neuer Untersuchungen sein, welche vor allem festzustellen haben werden, wie weit die Strahlung der elektrischen Lampe mit dem erwähnten starken Absinken der relativen Feuchtigkeit zusammenhängt und welcher Anteil der Strahlung und den Feuchtigkeitsverhältnissen an dem Längenwachstum der Pflanzen zukommt.

Einige Vorversuche, welche diesbezüglich unternommen wurden, hatten folgenden Verlauf: Kontroll-(Dunkel-) und zu belichtende Weizenkeimlinge kamen aus dem Dunkelsturz unter Glasglocken von gleicher Größe und gleicher Stärke des Glases, welche durch Wasser abgeschlossen waren. Unter diesen Glocken verblieben sie bei den verschiedenen Versuchsarten, 10 Minuten, $^1/_4$ Stunde, 1 Stunde und einen ganzen Tag, bevor sie dem Licht ausgesetzt wurden, und auch weiterhin nach der Belichtung im Dunkeln. Aus den folgenden Tabellen 12 und 13 ist zu ersehen, daß die Feuchtigkeit weder die Retardierung noch die Beschleunigung aufhebt, daß aber

1 Pfeffer, a. g. O., p. 332.

2 F. Czapek, Biochemie, Bd. 2, p. 883.

3 L. Jost, Pflanzenphysiologie (1904), p. 107 und 385.

Tabelle 12.

**Triticum vulgare im feuchten Raume.**

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Lichtstärke 100 Normalkerzen | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anzahl der Versuche | Datum | Versuchstag | Länge in *cm* | | Wachstums-intensität | | Anzahl der Versuche | Datum | Versuchstag | Länge in *cm* | | Wachstums-intensität | |
| | | | | Licht-pflanze | Dunkel-pflanze | Licht-pflanze | Dunkel-pflanze | | | | Licht-pflanze | Dunkel-pflanze | Licht-pflanze | Dunkel-pflanze |
| | Licht $^1/_2$ Minute einwirkend | | | | | | | Licht $^3/_1$ Minuten einwirkend | | | | | | |
| | Die Keimlinge wurden vor der Beleuchtung 1 Stunde im feuchten Raume belassen | | | | | | | | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | 5 | 21./6. | 1. | 2·40 * | 2·75 | — | — | 4 | 15./6. | 1. | 0·74 | 0·54 | — | — |
| | | 22. | 2. | 5·58 | 6·05 | 2·32 | 2·20 | | 16. | 2. | 1·60 | 1·26 | 2·16 | 2·33 |
| | | 25. | 5. | 22·88 | 20·80 | 4·10 | 3·43 | | 17. | 3. | 4·90 | 4·52 | 1·06 | 3·59 |

| | Licht $^{3}/_{1}$ Minuten einwirkend | | | | | | | Licht 1 Minute einwirkend | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Die Keimlinge wurden vor der Beleuchtung $^{1}/_{1}$ Stunde im feuchten Raume belassen | | | | | | | | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | 3 | 13./6. | 1. | 2·20 | 2·16 | — | — | 3 | 17./6. | 1. | 0·66 | 0·86 | — | — |
| | | 14. | 2. | 4·52 | 5·24 | 2·05 | 2·42 | | 18. | 2. | 1·54 | 1·80 | 2·33 | 2·09 |
| | | 15. | 3. | 8·82 | 8·30 | 1·94 | 1·58 | | 19. | 3. | 4·70 | 5·88 | 3·05 | 3·15 |
| | Licht $^{3}/_{1}$ Minuten einwirkend | | | | | | | Licht $1^{1}/_{2}$ Minuten einwirkend | | | | | | |
| | Die Keimlinge wurden vor der Beleuchtung 10 Minuten im feuchten Raume belassen | | | | | | | | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | 3 | 10./6. | 1. | 1·80 | 1·76 | — | — | 2 | 20./6. | 1. | 3·20 | 3·26 | — | — |
| | | 11. | 2. | 4·35 | 5·32 | 2·41 | 3·02 | | 21. | 2. | 4·36 | 5·40 | 1·36 | 1·65 |
| | | 12. | 3. | 9·37 | 9·10 | 2·20 | 1·71 | | 22. | 3. | 7·70 | 9·05 | 1·76 | 1·67 |

* Die erste Ziffernreihe zeigt die Länge der Pflanzen vor der Beleuchtung.
Die zweite und die weiteren Ziffernreihen zeigen die Länge und Wachstumsintensität nach der Beleuchtung im Dunkeln.

## Tabelle 13.[1]

**Triticum vulgare im feuchten Raume. Lichtstärke variiert.**

| Zahl der verwendeten Keimlinge | Zahl der Versuchsreihen | Datum | Versuchstag | Länge in *cm* | | Wachstumsintensität | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Lichtpflanze | Dunkelpflanze | Lichtpflanze | Dunkelpflanze |
| Die Keimlinge wurden vor der Beleuchtung 1 Tag im feuchten Raume belassen | | | | | | | |
| 5 per Kulturgefäß | Lichtstärke 100 Normalkerzen, $^1/_2$ Minute einwirkend | | | | | | |
| | 1 | 30./6. | 1. | 3·64 * | 3·06 | — | — |
| | | 3./7. | 4. | 17·60 | 13·12 | 4·85 | 4·28 |
| | Lichtstärke 50 Normalkerzen, $^3/_4$ Minuten einwirkend | | | | | | |
| | 2 | 22. 6. | 1. | 0·86 | 0·92 | — | — |
| | | 24. | 3. | 6·50 | 7·24 | 1·56 | 7·84 |
| | | 26. | 5. | 15·16 | 14·84 | 2·33 | 2·04 |
| | Lichtstärke 25 Normalkerzen, 1 Minute einwirkend | | | | | | |
| | 2 | 23. 6. | 1. | 0·90 | 1·22 | — | — |
| | | 28./6. | 6. | 16·36 | 16·08 | 16·75 | 13·40 |

* Bezüglich der Ziffernreihen gilt dasselbe wie in Tabelle 12.

[1] Versuche über Retardierung sind noch nicht ausgeführt worden.

die Grenze, an welcher der Umschlag, d. h. Beschleunigung statt Retardierung, erfolgt, gegen die früheren Versuche zumeist verschoben erscheint. Während früher die Beschleunigung bei den *Triticum*-Keimlingen zwischen $^3/_4$ bis $1^1/_2$ Minuten Einwirkungszeit eintrat, wenn die Lichtstärke 100 Normalkerzen betrug, zeigt sie sich jetzt, je nach dem Feuchtigkeitsgrade, zwischen $^1/_2$ bis $^3/_4$ Minuten. Werden 50 Normalkerzen verwendet, so tritt die Beschleunigung bei $^3/_4$ Minuten Einwirkungsdauer auf, ebenso bei 25 Normalkerzen. Außerdem zeigt sich

die Beschleunigung bei 100 Normalkerzen und 50 Normalkerzen erst am zweiten Tage, wenn sich die Keimlinge im feuchten Raume befinden, während sie bei den früheren Versuchen bei dieser Lichtstärke schon am ersten Tage auftrat. In der Regel ist die Verlängerung eine dauernde.

Diese Beobachtungen erfordern noch wesentliche Ergänzungen und sollen noch fortgesetzt werden.

Weitere Untersuchungen werden erforderlich sein, um die Wirkung der einzelnen Strahlenbezirke des Spektrums auf das Längenwachstum der Pflanze festzustellen.

Ferner soll auch das Verhalten des Längenwachstums im intermittierenden Licht geprüft werden.

## Zusammenfassung.

Wenn Licht von verschiedener Intensität oder wechselnder Dauer auf das Hypokotyl oder die Coleoptile etiolierter Keimlinge einwirkte, so ergab sich in bezug auf das Längenwachstum folgendes:

1. War die Lichtquelle eine künstliche, und zwar Kohlenfadenlampen in der Stärke von 100 bis zu 0·55 Normalkerzen, deren Licht durch eine konstante Zeit einwirkte, so trat z. B. bei 2 Stunden Belichtung, nach Übertragung ins Finstere, eine Retardierung des Längenwachstums der Keimlinge von Bohnen, Weizen und Senf ein, jedoch nur bei Lichtstärken von 100 bis 25 Normalkerzen. Sank die Intensität noch weiter, so zeigte sich eine Beschleunigung im Vergleiche zu der konstant verdunkelten Pflanze. Sowohl die Verlängerung als auch die Verkürzung kann eine dauernde bleiben.

2. Bei konstanter Intensität des Lichtes, und zwar 100 Normalkerzen, jedoch bei wechselnder Einwirkungsdauer desselben (12 Stunden bis 15 Sekunden), auf die etiolierten Keimlinge von *Phaseolus vulgaris. Triticum vulgare, Sinapis alba* trat ebenfalls 24 Stunden nach erfolgter Beleuchtung, dann im Dunkeln Retardierung ein, jedoch nur bis zu einer bestimmten Zeitgrenze. Diese war bei den genannten Arten verschieden: von 2 Minuten bis zu 1 Minute. Währte die Belichtung noch kürzere Zeit, so trat Beschleunigung des Längenwachstums ein.

3. War das Produkt aus Intensität × Zeit, bei wechselnder Größe dieser zwei Faktoren, ein konstantes, so zeigte sich gleich am Schlusse der Exponierung, daß bei Keimlingen von *Phaseolus vulgaris* gleichen Alters die Wirkung nicht dieselbe war, sondern bei gewissen länger währenden Exponierungen die größere Lichtintensität die stärkere retardierende Wirkung hatte. Waren jedoch die Keimlinge verschiedenen Alters, so erschienen die jüngeren Keimlinge durch größere Lichtintensität stärker retardiert, die älteren durch längere Dauer der Beleuchtung. Am nächsten Tage und noch späterhin reagierten die verschieden alten Keimlinge gleich: diejenigen, welche dem stärkeren Lichte ausgesetzt waren, zeigten eine bedeutendere Retardierung als jene, welche bei länger währender Einwirkung mit geringerer Intensität beleuchtet waren.

4. Die großen Unterschiede, welche die relative Feuchtigkeit an den beiden Standorten der Keimlinge: unter dem Dunkelsturz und am Exponierungsorte während der Beleuchtung zeigt, machen weitere Untersuchungen der Einwirkung der drei Faktoren Licht, Wärmestrahlen und relative Feuchtigkeit aufeinander und auf die Pflanze notwendig.

Vorversuche ergaben in bezug auf die Einwirkung der Feuchtigkeit, daß diese weder die Retardierung noch die Beschleunigung des Längenwachstums aufhebt, daß aber die Grenze, an welcher der Umschlag der einen in die andere erfolgt, im Vergleich zu den oben beschriebenen Versuchen zumeist verschoben erscheint.

5. Das Licht verhält sich in seiner Wirkungsweise auf die etiolierten Keimlinge ähnlich wie manche chemische Reizstoffe in bezug auf Beeinflussung des Wachstums der Pflanzen. Wie diese in geringen Mengen, so beschleunigt Licht von schwacher Intensität oder kurzer Dauer das Längenwachstum, während große Intensität oder lange Einwirkungsdauer retardierend wirkt wie die genannten Stoffe in größerer Menge.

6. Wurden die etiolierten Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* und *Triticum vulgare* dem Tageslicht, also Licht von nicht konstanter Intensität, ausgesetzt, so waren am Schlusse des Versuches, dann nach Übertragung ins Dunkle die am längsten beleuchteten Pflanzen die kürzesten. Von den nach der Expo-

nierung im Tageslichte im Dunkeln weiter kultivierten Pflanzen zeigen nur die kurze Zeit belichteten Keimlinge eine geringere Wachstumsintensität als die Dunkelpflanzen, während die mehrere Tage dem Licht ausgesetzten Keimlinge oft schon vom zweiten Tag an eine Wachstumsbeschleunigung aufweisen.

Da die Exponierung am Tageslichte mehrere Tage dauerte, so war es wegen schwankender Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse nicht möglich, diese Versuche exakt zu gestalten.